B209 3板式高速カラービデオ／マルチフレーミングカメラ

近畿大学 江藤剛治・竹原幸生
(株)フォトロン 辻政孝^o
(株)浜松ホトニクス 久米英浩

Highspeed Colour Video/Multiframing camera with Three Image Sensors

Takeharu ETOH *, Kohsei TAKEHARA *,
Masataka TSUJI **, and Hidehiro KUME ***

Three sets of the intensified image sensors are combined together with a cubic three-way beam-split prism and three optical filter holders to set up a utility high-speed video/ultra-high-speed multi-framing camera. The camera can capture fast-moving images in the following conditions:

- (1) 4,500-pps continuous color imaging with R, G and B filters and perfect synchronization of three imagers for a full frame of 256x256x3 pixels, and faster color imaging up to 40,500 pps for reduced resolution of 64x64x3 pixels,
- (2) Three times faster continuous monochrome imaging without filters and delayed synchronization, i.e., 13,500-pps for a full frame(256x256), and up to 121,500-pps for a reduced frame(64x64), and,
- (3) Ultra-fast three-frame capturing at a rate of 1/10,000,000 second by delayed gating of the image intensifiers.

1. はじめに

筆者らは1991年に4,500pps (pictures per second, 枚/秒) の当時世界一の撮影速度を持つ高速ビデオカメラを開発した¹⁾。このビデオカメラは高速であるばかりでなく、設計当初より、高速撮影で常に問題になる、光量不足の問題を極力解決することを念頭に置いて開発された。すなわち、撮像素子の設計段階から、画素サイズ、開口率(画素内のフォトダイオードの占める面積の割合)等を極力大きくするとともに、市販のものとしては、当時世界最高の性能を持っていた浜松ホトニクス社製のMCP型II(マイクロチャンネルイメージインテンシファイヤ)と撮像素子をファイバプレートで直結することを想定して、基本仕様が決められた。

このカメラにはいくつかの問題点がある²⁾。そのうち、モノクロであること、解像力が256(H)×256(V)と若干低いこと等を解決するために、撮像素子を3枚使った3板式ビデオカメラを開発した。さらに3板式化することで付加できる新たな機能を追加した。例えば、遅延同期の導入により、3倍速ビデオカメラとして使うこともできるし、MCPと光電面間の電圧を高速で切り替える高速ゲーティングとわずかな時間差の遅延同期により、3枚連続の画像

* Kinki University, 3-4-1 Kowakae, Higashi-Osaka

** Photoron Ltd., 968 Nishi-Sakaime, Kamigo, Ebina, Kanagawa

*** Hamamatsu Photonics K.K., 314-5 Shimokanzo, Toyooka, Iwata-Gun, Shizuoka

の組が1/10,000,000秒毎に得られるマルチフレーミングカメラとして使うこともできる。

以上より、本カメラは次のような条件で、流れや運動の可視化に適用することができる。

- 1) RGBフィルターの装着により、標準モード（画素数 $256 \times 256 \times 3$ ）で4,500ppsのカラー撮影することができる。
- 2) フィルター無しで、3倍速撮影ができる。この場合標準モードで13,500pps、解像力を下げるとより高速になり、最高121,500pps（画素数 64×64 ）のモノクロ撮影ができる。
- 3) フィルター無しで、最短1/10,000,000秒の時差で3枚の画像の組をモノクロでマルチフレーミング撮影することができる。これから、位置、速度、加速度場が1/4,500（ 256×256 ）～1/40,500（ 64×64 ）秒毎に得られる。
- 4) フィルターを変えることにより、3種の波長の光で同時に高速撮影することができる。例えば、アルゴンイオンレーザーで照明し、488nmと514nmの反射散乱光で撮影すると同時に、より長い波長の蛍光で同時撮影することができる。

このように標準モードで、4,500ppsの高速ビデオ撮影（カラー）と1/10,000,000秒の超高速マルチフレーミング撮影（モノクロ）ができるので、このカメラを高速ビデオ／マルチフレーミングカメラと呼ぶことにした。

2. カメラの構成

2.1 撮像部

撮像部の概要を Fig.1 に示す。

今回は撮像素子は5年前に開発した16並列読み出しの4,500ppsのMOS型撮像素子を使用している。撮像素子には初段アンプを近接配置している。

各素子は（株）浜松ホトニクス製のMCP型II（近接IIユニットC4273）とファイバプレート（FOP:Fiber Optics Plate）を用いて直結している。

光3分割プリズムとしては、特注キュービックプリズムを用いている。後述のようにフィルターは取り替え可能で、それにより生じる微妙な位置ずれの調整機能も備えている。以上の光学系の感受波長領域は、360nmの紫外光から近赤外光までである。

II付撮像素子とプリズムの間にはフィルターホルダーがある。

3個のIIを完全同期または非常に短い時差で遅延同期させるために、IIの制御回路は、撮像素子の近接ブロックに配置している。

2.2 制御部

アンプ、48個（ $=3 \times 16$ ）のADコンバーター、画像情報記録部、画像情報構成部、画像情報入出力制御部、同期制御部からなる。

外部のコンピュータとの情報のやりとりは、SCSI様式による。

試作段階では、3個の撮像素子で撮影した画像情報をデジタル化し、外部のコンピュー

Fig.1 Three-way beam splitter and three sensors

タに出力し、コンピュータ中で位置づれの調整や画像構成する構成としている。これらの機能は近日中にカメラ内に組み込む。

制御・出力パネルの概要をFig. 2 に示す。

3. キュービックプリズム

3.1 1/4光量3分割プリズム

概念図 Fig. 1に示している。これは、金属ハーフミラーにより、光を半分づつ2回分割する。図に示すように1/4の光量が損失となる。

このプリズムに高解像CCDカメラを取り付け、撮影した像の例を Fig. 4に示す。部分的に輝度ムラや解像力の低下が見られる。

これは第1段階の試作品であるから、今後性能の向上は期待できる。また用いる撮像素子の画素サイズが $40 \times 40 \mu\text{m}$ と大きいこと、今回のカメラは輝度ムラ等は画素単位でソフト的に調整する機能を有する³⁾等の理由により、大きな障害とはならない。

3.2 プリズムの交換

キュービックプリズムの製作には高度の加工精度を必要とする。これは光学フィルターを蒸着した4個の直角3角プリズムを貼り合わせて製作する。しかし所定の精度が得られる場合には、非常に単純な形状なので、取り替え機構が簡素化される。

カラー撮影をはじめ、種々の波長の光で撮影するには、1/4光量3分割プリズムを用いてフィルターを交換するより、プリズムの反射面のかわりに直接、干渉フィルターを付けて、プリズムごとに交換する方式の方が良い。

Fig. 1に示す1/4光量3分割プリズムとフィルター交換を用いる場合には、例えばカラー撮影では、入射光量がプリズムで1/4となる。次にR, G, Bのいずれかのフィルターを通過することで、光量は約1/3になる。合計約1/12となるが、実際にはそれ以外の光学損失もあるので、入射光量の1/15~1/20の光量で高速撮影することになる。

一方、Fig. 3(a)に示す、フィルター付プリズムでは光の3原色分解を除いては損失はほとんどない。例えばアルゴンイオンレーザーで散乱光と蛍光を撮影するときは、Fig. 3(b)のようなフィルターとなる。

光の反射・散乱などについては、概念設計では予想困難な様々の問題が生じることがある。例えば各種のゴースト像等である。このため接着面だけでなく、入射・出射面等にもフィルターを蒸着する必要がある可能性が高い。現在取り付けているフィルターホルダー

Fig. 2 The rear view of the developed video camera

- a). カメラ1, 2, 3の画面をシリアルに出力
- b). カメラ1, 2, 3を並列に出力
- c). 並列出力時SYNC
- d). 3台のI.I.のゲート信号
- e). I.I.の遅延モードの切替
- f). SCS1用コネクタ
- g). リモコンで設定できない項目の設定用 (予定)
- h). SCS1アドレス, 他の設定
- i). リモコン用, 従来のULTIMAのリモコンを使用

はこのような問題の試行錯誤による改善にも役立つ。

4. おわりに

標準カラー撮影モードでは、画素数 $256 \times 256 \times 3$ で4,500ppsの高速ビデオ撮影、 256×256 の標準モノクロ撮影では13,500ppsの3倍速ビデオ撮影、および $1/10,000,000$ 秒の時差で3枚連続マルチフレーミング撮影ができる、高速ビデオ／マルチフレーミングカメラを開発した。このカメラは高速であるばかりでなく、内蔵MCP型IIの遅延同期、キュービックプリズムの交換等により種々の高機能撮影を可能にする。

Fig.3 Cubic beam splitter

Fig.4 Resolution of a cubic beam splitter
(写真の右上の部分にピンぼけが生じている)

[参考文献]

- 1) 江藤剛治：4,500枚／秒の高速ビデオカメラ，テレビジョン学会誌，Vol.46, No. 5, pp. 543-545, 1992.
- 2) 江藤剛治・竹原幸生：研究展望 高速ビデオカメラの現状と水工学分野への適用，土木学会論文集，No. 533/II-34, pp. 9-20, 1996.
- 3) 江藤剛治・沖幸男・山川昌文・竹原幸生：3波長同時計測を目的とした高速ビデオカメラの画素単位的位置・感度調整機構，本論文集，B210, 1996.